doi:10.13866/j.azr.2019.05.12

新疆野苹果的种群年龄结构与数量动态①

苏志豪， 李文军， 曹秋梅， 周晓兵， 张元明

（中国科学院新疆生态与地理研究所干旱区生物地理与生物资源重点实验室，新疆 乌鲁木齐 830011）

摘 要：新疆野苹果是第三纪孑遗物种，目前种群数量和分布面积日益减少，已处于灭绝的边缘。通过对新疆野苹果不同生境种群生命表、存活曲线及种群数量的时间序列预测分析，阐明其种群年龄结构及未来发展趋势。研究结果表明：新疆野苹果种群几乎无1龄级幼体，仅新源县改良场种群存在少量2龄级个体，绝大多数种群优势龄级为4、5龄级，新源县八连种群优势龄级已达6、7级，各种群中老龄个体数量占优势；不同种群的存活曲线大致趋于Deevey-II型，各龄级的死亡率相近；由于大部分种群已经处于中龄级，随着时间推移，预计20 a、40 a、60 a后，各种群优势龄级将往后推移，老化现象加剧。应建立新疆野苹果种质资源库，进行人工育苗，对各种群进行补植，促进林分向异龄林发展，并加强人工抚育管理措施，间伐过度密集的灌木、草本，控制病虫害，为幼苗定植创造条件。

关键词：新疆野苹果；静态生命表；时间序列；年龄结构；种群动态

新疆野苹果（*Malus sieversii*）隶属于蔷薇科（Rosaceae）苹果属（*Malus*），是第三纪孑遗物种[1]。该物种主要分布于天山山脉，在我国分布于新疆伊犁地区的新源县、伊宁县、霍城县、巩留县，以及塔城地区的额敏县和托里县[2]，哈萨克斯坦的阿拉木图州、塔尔迪库尔干州，吉尔吉斯斯坦的伊塞克湖州等中亚地区也有分布[3]（图1）。新疆野苹果具有耐旱、耐寒、耐盐碱、抗病虫等优良性状[4-5]，与栽培苹果亲和力强，是苹果产区重要砧木资源[6]，为我国仅存唯一的经济果树资源的天然基因库[7-8]，对我国苹果生产具有重要意义。

新疆野苹果位于原始林区的中下部及边缘地带，是放牧的天然牧场。野苹果幼苗长期遭牛羊啃食、踩踏，无法正常生长，天然更新受到严重限制。此外，当地居民砍伐野苹果树枝当薪柴使用，并直接在野苹果树上实施嫁接改良，对新疆野苹果树木造成破坏。再者，新疆野苹果还遭受苹果小吉丁虫（*Agrilus mali*）病害的威胁，近6 000 hm^2 新疆野苹果林已有约2 000 hm^2 野苹果树枯死[9]。由于诸多不良因素干扰，新疆野苹果种群数量锐减，分布区面积不断缩小，种群更新严重受阻，已被列为中国优先保护物种名录和国家二级重点保护植物[10-11]，如不采取积极有效的保护措施，新疆野苹果就会有灭绝的危险。

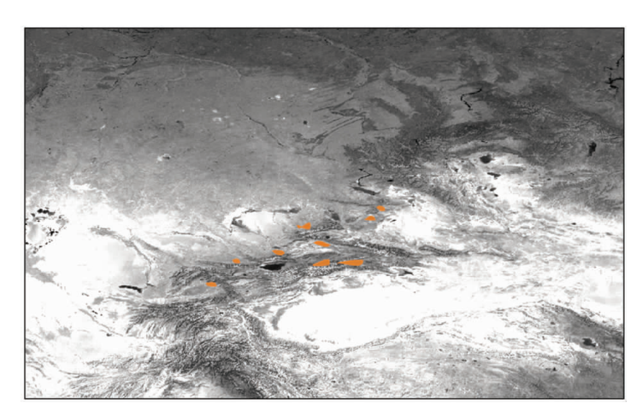


图1 新疆野苹果的地理分布示意图

Fig. 1 Geographical distribution of *Malus sieversii*

种群的年龄结构是指不同年龄组的个体在种群内的比例和配置情况[12]。种群动态是指种群大小或数量在时间、空间上的变化规律[13]。种群年龄结构可反映种群数量动态及发展趋势，也能够反映种群与环境间的相互关系及其在群落中的作用和地位[14]。研究种群结构与演替动态，有助于掌握种群生态特性、演变趋势、更新策略，对种群的保护具有重要意义[15-16]。本文通过对新疆野苹果不同生境种群年龄结构、生命表、存活曲线及种群数量的时间序列预测分析，阐明其种群年龄结构及未来发展趋

① 收稿日期：2018-12-06； 修订日期：2019-03-04

基金项目：天山北坡退化野果林生态保育与健康调控技术（2016YFC0501500）；国家自然科学基金（U1803103，31770703）；天山野果林退化机理研究创新团队项目（2018D14009）资助

作者简介：苏志豪（1981-），男，副研究员，从事植物保护生物学研究工作. E-mail：suzh@ms.xjb.ac.cn

通讯作者：张元明. E-mail：Zhangym@ms.xjb.ac.cn

势，为新疆野苹果的合理保护利用提供依据。

1 研究方法

1.1 研究区概况

新疆野苹果生长于海拔900～1 930 m山地的阴坡或半阴坡[17]。新疆野苹果林呈带状或块状分布，分布呈不连续状，以较大的间断性出现于各山系，表现出对小气候的严格选择性和原始残遗群落的特征[18]。新疆野苹果生境具有温暖、湿润的特点，具有温带湿润小区的气候特点[17]。新疆野苹果林内常伴生乔木樱桃李（*Prunus cerasifera*）、山杏（*Armeniaca sibirica*）、准噶尔山楂（*Crataegus songorica*）、稠李（*Prunus padus*）等；林下伴生灌木新疆忍冬（*Lonicera tatarica*）、欧洲木莓（*Rubus caesius*）、蒙古扁桃（*Amygdalus mongolica*）、中亚卫矛（*Euonymus semenovii*）、天山茶藨子（*Ribes meyeri*）、水栒子（*Cotoneaster multiflorus*）、密刺蔷薇（*Rosa spinosissima*）、欧洲荚蒾（*Viburnum opulus*）等；林下伴生草本有麻叶荨麻（*Urtica cannabina*）、异株荨麻（*U. dioica*）、糙苏（*Phlomis umbrosa*）、薄荷（*Mentha canadensis*）、龙芽草（*Agrimonia pilosa*）、路边青（*Geum aleppicum*）、克什米尔羊角芹（*Aegopodium kashmiricum*）等。

1.2 样地调查

经充分调查后，新疆野苹果在新疆所有分布区考虑不同群落类型和生境条件的代表性，在不同典型群落中共布设50 m×50 m的样方16个，各样方地理位置、海拔见表1。用相邻格子法进行每木调查，大样方内设5 m×5 m灌木样方3个，1 m×1 m草本样方3个，调查样方内群落组成、高度、盖度等，方法参考董鸣等[19]，记录新疆野苹果的基径、冠幅，用基径确定新疆野苹果树龄。在新源县改良场野果林选取24株新疆野苹果树木，逐个钻取年龄木芯，观测108株被据新疆野苹果树年轮、基径，整理基径、树龄数据后，利用线性回归方程模拟两者之间的关系。基径（x）与树龄（y）的回归方程如下：

$$y = 1.966x + 17.31$$

该方程F分布的显著性概率为0.000，回归相关系数$r = 0.676$（$P < 0.001$），表明两变量之间的相关关系极为显著，建立的回归方程是有效的。

1.3 种群年龄结构图绘制

以10 a为一个龄级，统计每一样方内各龄级的株数，组成各种群的年龄结构基本数据。以龄级为横坐标，以株数为纵坐标绘制新疆野苹果年龄结构图[20]。

表1 新疆野苹果16个种群的地理位置

Tab.1 Geographical locations of the 16 populations of *Malus sieversii*

样方名称	样方编号	样方株数	经度(E)	纬度(N)
托里老风口1	1	80	83°32′7″	46°09′10″
托里老风口2	2	53	83°32′43″	46°09′7″
托里老风口3	3	9	83°33′16″	46°09′20″
额敏风景区1	4	32	84°00′00″	46°21′50″
额敏风景区2	5	63	83°59′44″	46°22′7″
额敏风景区3	6	65	83°59′38″	46°21′56″
霍城果子沟1	7	35	81°01′38″	44°24′31″
霍城果子沟2	8	55	80°58′38″	44°22′20″
巩留大莫合	9	82	82°48′31″	43°10′18″
巩留小莫合1	10	40	82°43′26″	43°11′58″
巩留小莫合2	11	38	82°43′38″	43°11′59″
新源八连	12	56	82°51′30″	43°15′40″
新源改良场1	13	187	83°35′52″	43°22′35″
新源改良场2	14	49	83°35′51″	43°23′36″
新源改良场3	15	105	83°36′52″	43°23′36″
新源改良场4	16	70	83°36′52″	43°22′35″

1.4 种群静态生命表和存活曲线

以新疆野苹果种群年龄结构数据为基础编制静态生命表，绘制存活曲线，具体方法见文献〔21－25〕。静态生命表各参数含义如下：X为年龄等级；N_x为在x龄级内现有个体数；l_x为在x龄级开始时标准化存活率（一般转换为1）；d_x为从x到$x+1$龄级间隔期内标准化死亡数；q_x为从x到$x+1$龄级间隔期间死亡率；L_x为从x到$x+1$龄级间隔期间平均存活数；T_x为从x龄级到超过x龄级的个体总数；e_x为进入x龄级个体的生命期望或平均期望寿命以上各项相互关联，通过实测值N_x或d_x求得其余各项的数值。

1.5 种群动态的时间序列预测模型

$$M_t^{(1)} = M_{t-1}^{(1)} + \frac{X_t - X(t-n)}{n}$$

式中：$M_t^{(1)}$是近期n个观测值在t时刻的平均值，称为第n周期的移动平均；X_t为t龄级种群大小。本文以n值为各龄级株数；t分别取20 a、40 a和60 a，对未来种群发展趋势进行预测，具体原理和方法见文献〔26－27〕。

2 结果与分析

2.1 种群年龄结构

新疆野苹果年龄结构总体呈中部龄级最多,而幼龄植株较少,小于 10 a 个体数为 0,少数 10 ~ 20 a 龄级个体出现在新源县野果林改良场(图 2)。新疆野苹果最大为 128 a,出现在霍城县果子沟,最小为 19 a,出现在新源县野果林改良场。托里老风口种群 1 中,4、5 龄级为优势龄级,占总数 77.50%;托里老风口种群 2 中,3、4 龄级为优势龄级,占总数的 77.36%;托里老风口种群 3 中,5、7 龄级为优势龄级,占总数 66.67%;额敏县野果林风景区 3 个种群中, 4、5 龄级为优势龄级,分别占总数的 81.25%、75.93% 和 83.08%;霍城县果子沟种群 1 中,4、5、6 龄级为优势龄级,占总数的 90.91%;霍城县果子沟种群 2 中,4、5 龄级为优势龄级,占总数的 80%;巩留县大莫合种群、小莫合种群 1、种群 2 中, 4、5 龄级为优势龄级,分别占总数的 85.37%、90.00% 和 60.53%;新源县八连种群中,6、7 龄级为优势龄级,占总数的 71.43%;新源县改良场 4 个种群中,3 龄级为优势龄级,分别占总数的 86.10%、87.76%、88.57% 和 85.71%(图 2)。

2.2 种群静态生命表和生存曲线

新疆野苹果 1 龄级存活量为 0,2 龄级死亡率为负,说明新疆野苹果幼苗库严重不足(表 2)。若要维持新疆野苹果种群持续发展,需要补充一定数量幼苗,否则新疆野苹果种群将走向灭绝。在 3、4、5 龄级,累积死亡量占总数的 82.36%,以后各龄级的累积死亡量仅为 17.64%,说明新疆野苹果种群的维持依赖于 3、4、5 龄级的中龄个体;同时也反应种群进入中龄期后,个体对光照、水分、养分和空间的需求不断增大,个体间生态位竞争增强,种群自疏和他疏作用增强,导致新疆野苹果中龄级较高的死亡率。6 龄级的新疆野苹果个体已进入新疆野苹果的中龄后期,能够较好获得足够营养空间,死亡率减少。在进入新疆野苹果生理衰老期后,种群死亡率不高。

从表 2 发现,新疆野苹果在 3 龄级存活量最高,随后存活量下降,各龄级死亡率大致相等。从图 3 中发现,种群老风口 1、老风口 2、额敏风景区 1 ~ 3、果子沟 2、大莫合 40 a 生的(4 龄级)存活量最高,大于 40 a 生的(5 龄级)存活量下降,死亡率较高;种群老风口 3、果子沟 1、小莫合 1、小莫合 2 的 50 a 生(5 龄级)存活量最高,大于 50 a 生的(5 龄级)存活量下降,死亡率较高;新源县八连 60 a 生(6 龄级)存活量最高,大于 60 a 生的(6 龄级)存活量下降,死亡率较高。各种群接近生理寿命前,死亡率降低,只有少数个体死亡。

2.3 种群数量动态的时间序列预测

从图 4 可以看出,新疆野苹果各种群龄级个体数峰值在预测序列中依次向后推移。随时间推移,各种群老龄个体逐渐增多,幼龄期、青年期株数更显不足,随时间推移,老龄株数也急剧减少,种群呈衰退势态。可以预测,如果对新疆野苹果种群不采取及时适当的抚育措施,为各种群补充幼苗数量,为幼苗更新创造条件,新疆野苹果种群很难维持,甚至消亡。

表 2 新疆野苹果种群标准生命表

Tab. 2 Stand life table of the *Malus sieversii* populations

龄级(x)	存活数(N_x)	存活率(l_x)	死亡数(d_x)	死亡率(q_x)	L_x	T_x	生命期望(e_x)	$\lg N_x$
2	17	1.000	-380	-22.353	207.000	999.500	58.794	1.230
3	397	23.353	120	0.302	337.000	792.500	1.996	2.599
4	277	16.294	88	0.318	233.000	455.500	1.644	2.442
5	189	11.118	119	0.630	129.500	222.500	1.177	2.276
6	70	4.118	33	0.471	53.500	93.000	1.329	1.845
7	37	2.176	24	0.649	25.000	39.500	1.068	1.568
8	13	0.765	6	0.462	10.000	14.500	1.115	1.114
9	7	0.412	7	1.000	3.500	4.500	0.643	0.845
10	0	0.000	0	–	0.000	1.000	–	–
11	0	0.000	0	–	0.000	1.000	–	–
12	0	0.000	0	–	0.500	1.000	–	–
13	1	0.059	-1	-1.000	0.500	0.500	0.500	0.000

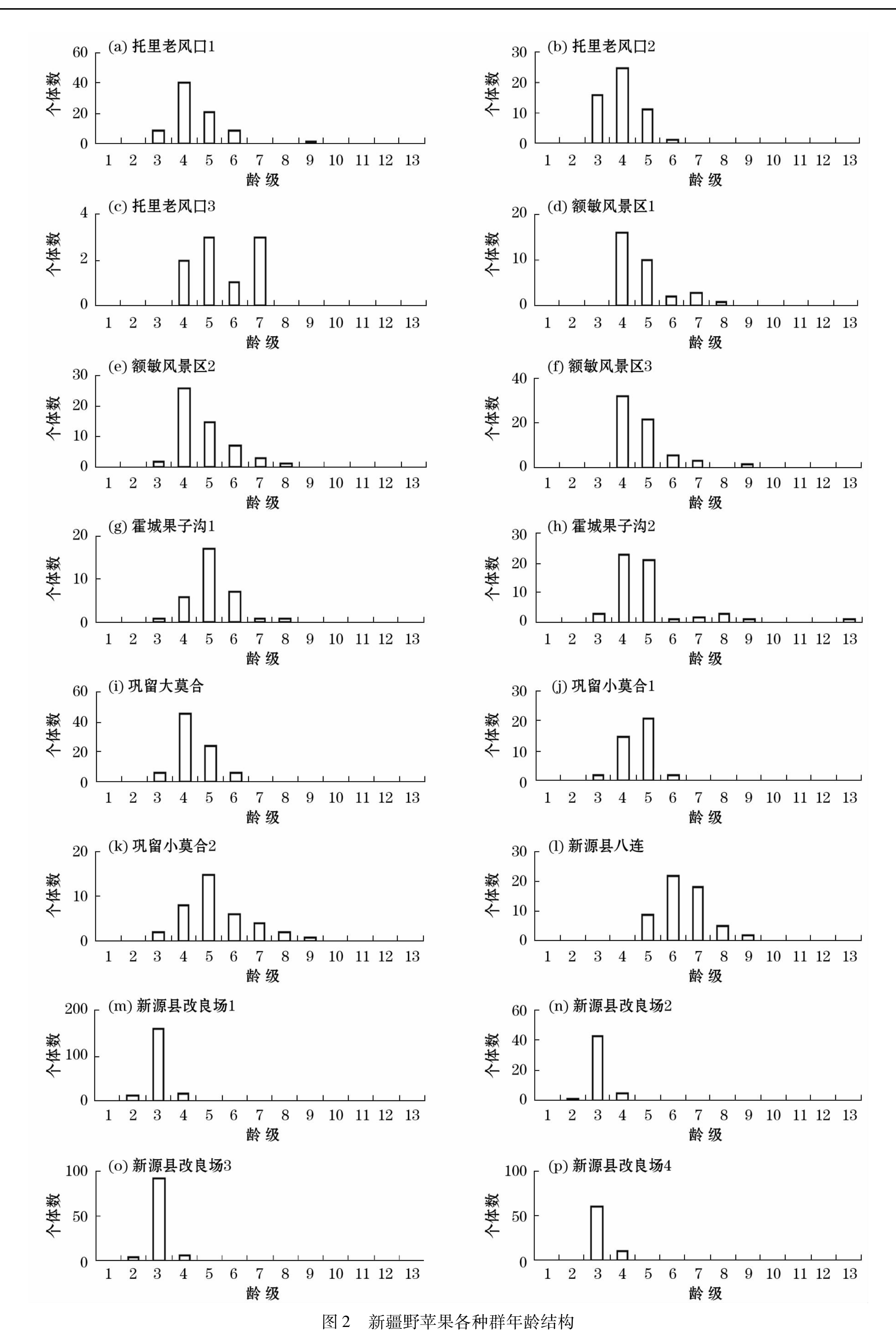


图 2 新疆野苹果各种群年龄结构

Fig. 2 Age composition of the different populations of *Malus sieversii*

表 3　新疆野苹果种群生命期望

Tab. 3　The mean expectation of life of *Malus sieversii* populations

龄级	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
2	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	16.50	48.50	20.50	–
3	9.50	2.81			22.75		32.50	17.50	13.17	19.50	18.50	–	0.59	0.62	0.58	0.67
4	1.26	0.98	4.00	1.50	1.21	1.53	4.83	1.72	1.15	2.03	4.00	–	0.50	0.50	0.50	0.50
5	0.98	0.59	1.83	1.10	1.07	1.00	1.03	0.83	0.75	0.60	1.37	5.67	–	–	–	–
6	0.61	0.50	3.50	2.50	1.07	1.33	0.79	6.50	0.50	0.50	1.67	1.59	–	–	–	–
7	–	–	0.50	0.83	0.83	1.17	1.50	2.50	–	–	1.25	0.83	–	–	–	–
8	–	–	–	0.50	0.50	–	0.50	1.17	–	–	1.00	0.90	–	–	–	–
9	0.50	–	–	–	–	0.50	–	1.50	–	–	0.50	0.50	–	–	–	–
10	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
11	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
12	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
13	–	–	–	–	–	–	–	0.50	–	–	–	–	–	–	–	–

注:1～16 为样方编号,具体见表 1。

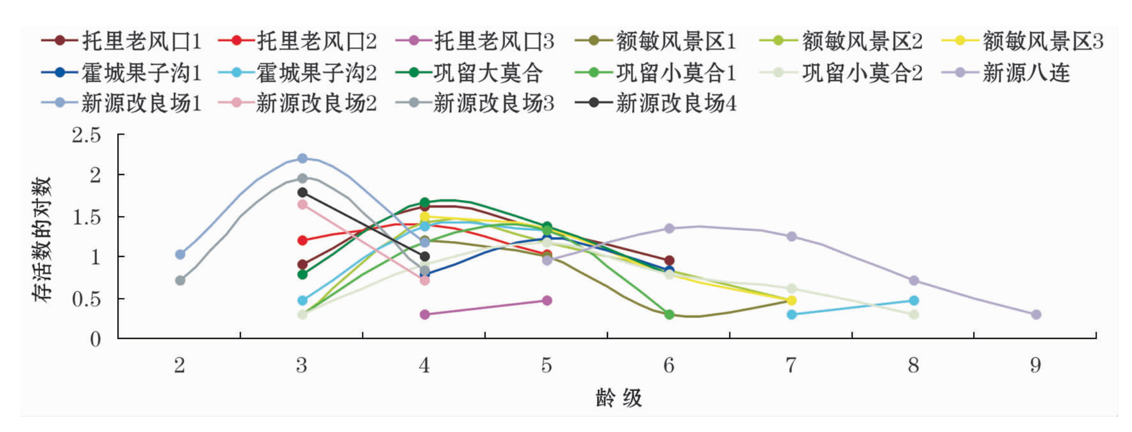


图 3　新疆野苹果各种群存活曲线

Fig. 3　Survival curves of different populations of *Malus sieversii*

3　讨 论

3.1　种群年龄结构

新疆野苹果种群年龄结构、静态生命表显示(图 2,表 2),2 龄级个体树木少,且仅存于新源县野果林改良场,未发现 10 a 生个体,各种群幼龄级个体数少。大多数新疆野苹果种群优势龄级为 4、5 级,新源县八连种群优势龄级已达 6、7 级,仅新源县野果林改良场 4 个种群优势龄级处于 3 级,各种群中老龄个体数量占优势。新疆野苹果种群存活曲线分析表明,尽管不同种群立地条件有差异,但以标准化后最高存活量为起点,各种群存活曲线基本属于 Deevey-II 型,即种群幼龄个体死亡率高,一旦进入青壮年期(3、4 龄级)之后,各龄级死亡率趋于稳定(图 3)。天然新疆野苹果种群主要依靠根蘖苗和种子繁殖维持更新[2]。长期以来,由于放牧干扰,新疆野苹果幼苗遭牛羊啃食、践踏严重,无法正常生长。此外,由于苹果小吉丁虫危害严重,造成幼苗成活率低,使自然繁育体系遭到破坏[28],各种群幼龄个体补充不足,自然更新无以维继。

3.2　种群动态特征分析

种群数量动态的变化是物种自身生物学特性与环境因素在时间尺度上共同作用的结果[29-30]。静态生命表研究发现,塔城地区 6 个种群、霍城县 2 个种群、巩留县 3 个种群同龄级(3、4 龄级)生命期望均高于新源县野果林改良场 4 个种群(表 3),推测这些种群所处环境独立分布,远离村庄,人工嫁接少,人为破坏小,病虫害较轻,种群保护较好。相比较而言,新源县野果林改良场新疆野苹果林分虽然较年轻,但林分密度大,植株间生态位竞争激烈,病虫害大面积侵染,野苹果植株死亡率高,使生命期望降低。新疆野苹果大部分种群已经处于中龄级,随着时间推移,各种群老化现象将加剧,新疆野苹果种群总体上呈衰退趋势,只是各种群衰退程度略显不

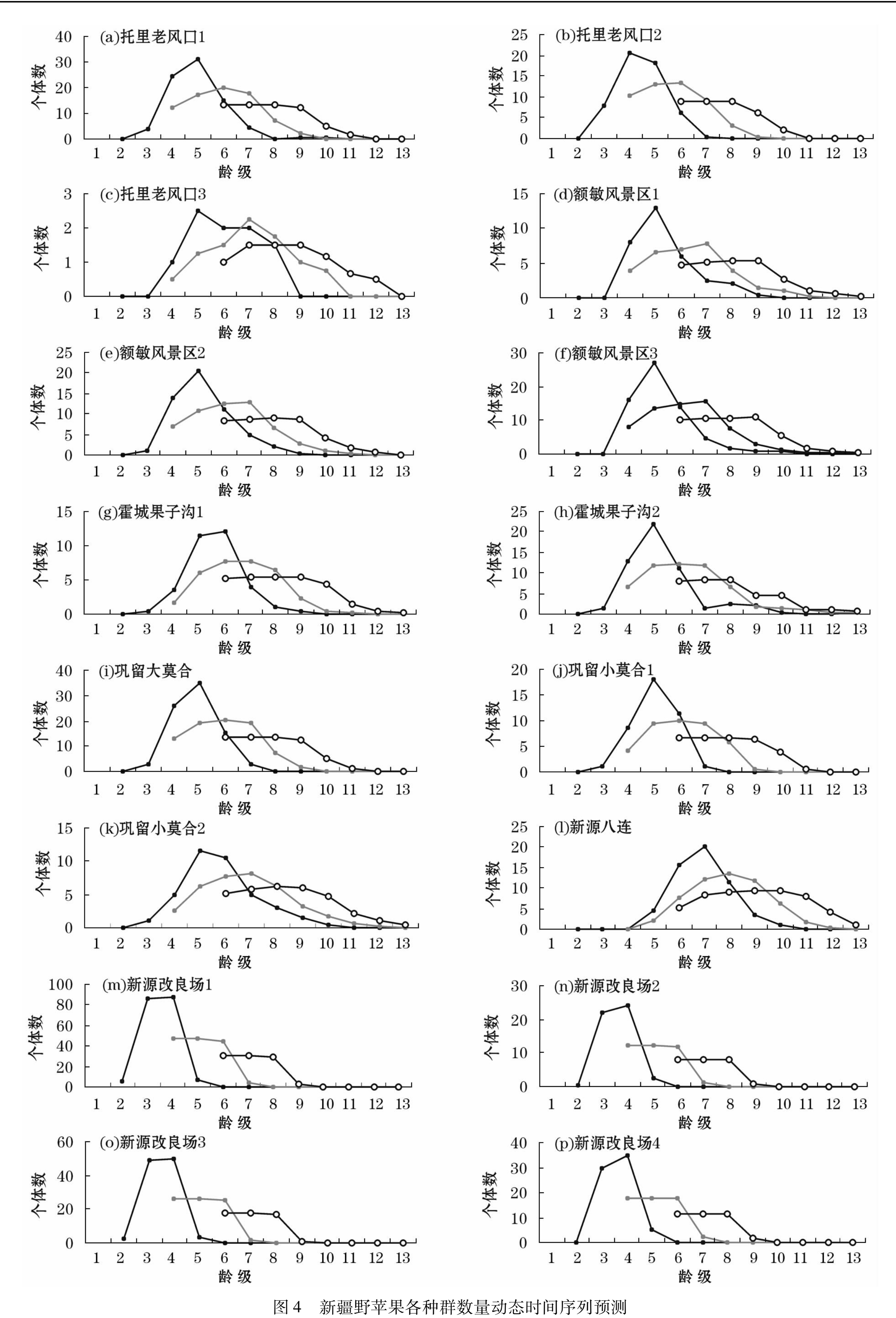


图4 新疆野苹果各种群数量动态时间序列预测

Fig. 4 Predicted time series of dynamic status of different populations of *Malus sieversii*

同。预测 20 a 后,仅老风口种群 2、改良场 4 个种群林分优势龄级处于 4 级,其余均达 5 或 6 级,新源县八连达 7 级;40 a 后,改良场 4 个种群林分优势龄级处于 5 级,其余均达 6 或 7 级,新源县八连达 8 级;60 a 后,改良场 4 个种群林分优势龄级处于 6 级,其余均达 7 ~ 9 级,新源县八连达 10 级(图 4)。可以预见,短短 50 a 内,新疆野苹果种群将大面积消亡,对新疆野苹果种群进行人工抚育与干预迫在眉睫。

3.3 种群管理措施建议

自然灾害、人为嫁接、病虫害、过度放牧、管理粗放等因素都是新疆野苹果种群走向衰退的主要因素[9,17,31]。新疆野苹果分布狭窄,衰退形势严峻,加大对新疆野苹果种群的抚育,对于新疆野苹果资源的持续经营、合理开发利用有着重要的意义。首先,应建立新疆野苹果种子资源库,从新疆野苹果各种群搜集健壮树木种子,区分保存;其次,应建立新疆野苹果种子资源苗圃,大量进行人工育苗,为后续种群抚育工作奠定基础;再次,从营养学及林分健康角度看,可以间伐过密野苹果植株以及病虫害严重植株,由于新疆野苹果基因资源独特而珍贵,在科学研究和开发利用上意义重大,应该尽量保护现有资源,间伐应有度;最后,在各个新疆野苹果种群分布点移植野苹果幼苗,增大种群规模,促进林分向异龄林发展,同时加强人工抚育管理措施,适当间伐乔木层非目的树种,以及过度密集的灌木树种;对过分浓密草本活地被物层(异株荨麻、炊麻)要进行积极清理,并积极控制病虫害,为新疆野苹果幼苗定植创造条件,形成不同龄级的种群更新体系。

参考文献(References):

〔1〕 傅立国. 中国植物红皮书——稀有濒危植物〔M〕. 北京:科学出版社,1992.〔Fu Liguo. China Plant Red Data Book〔M〕. Beijing:Science Press,1992.〕

〔2〕 阎国荣,许正. 中国新疆野生果树研究〔M〕. 北京:中国林业出版社,2010.〔Yan Guorong,Xu Zheng. Study on the Wild Fruit Trees in Xinjiang,China〔M〕. Beijing:China Forestry Publishing House,2010.〕

〔3〕 Chen X S,Feng T,Zhang Y M,et al. Genetic diversity of volatile components in Xinjiang Wild Apple (*Malus sieversii*)〔J〕. Journal of Genetics and Genomics,2007,34(2):171 – 179.

〔4〕 王泽华,秦伟,闫娟娟,等. 不同居群新疆野苹果叶片解剖结构与抗寒性的关系〔J〕. 经济林研究,2016,34(3):163 – 168.〔Wang Zehua,Qin Wei,Yan Juanjuan,et al. Study on the relationship between physiological response and cold hardiness of *Malus sieversii* in different populations〔J〕. Nonwood Forest Research,2016,34(3):163 – 168.〕

〔5〕 王磊,崔大方,林培钧,等. 新疆野生苹果的种下类型〔J〕. 新疆师范大学学报:自然科学版,1998,17(1):37 – 46.〔Wang Lei,Cui Dafang,Lin Peijun,et al. Types of wild apples planted in Xinjiang〔J〕. Journal of Xinjiang Normal University (Natural Science Edition),1998,17(1):37 – 46.〕

〔6〕 李育农. 苹果起源演化的考察研究〔J〕. 园艺学报,1999,26(4):213 – 220.〔Li Yunong. An investigation and studies on the origin and evolution of *Malus domestica* Borkh. in the World〔J〕. Acta Horticulturae Sinica,1999,26(4):213 – 220.〕

〔7〕 林培钧,崔乃然. 天山野果林资源〔M〕. 北京:中国林业出版社,2000.〔Lin Peijun,Cui Nairan. The Wild Fruit Forest Resources in Tianshan Mountains〔M〕. Beijing:China Forestry Publishing House,2010.〕

〔8〕 张新时. 伊犁野果林的生态地理特征和群落学问题〔J〕. 植物学报,1973,15(2):239 – 253.〔Zhang Xinshi. On the eco-geographical characters and the problems of classification of the wild fruit-tree forest in the Ili valley of sinkiang〔J〕. Acta Botanica Sinica,1973,15(2):239 – 253.〕

〔9〕 宋益学. 新疆野苹果的管理现状和保护措施〔J〕. 新疆林业,2006(6):34 – 35.〔Song Yixue. Management status and protection measures of wild apple in Xinjiang wild apple (*Malus sieversii*)〔J〕. Forestry of Xinjiang,2006(6):34 – 35.〕

〔10〕 林培钧,崔乃然,王磊. 天山野果林资源——伊犁野果林综合研究〔M〕. 北京:中国林业出版社,2000.〔Lin Peijun,Cui Nairan,Wang Lei. The Wild Fruit Forest Resources in Tianshan Mountains:Comprehensive study on Ili Wild Fruit Forest〔M〕. Beijing:China Forestry Publishing,2000.〕

〔11〕 国家环境保护局. 中国生物多样性保护行动计划〔M〕. 北京:中国环境科学出版社,1994.〔State Department of Environmental Conservation. Biodiversity conservation action plan of China〔M〕. Beijing:China Environmental Science Press,1994.〕

〔12〕 李博. 生态学〔M〕. 北京:高等教育出版社,2000:46.〔Li Bo. Ecology〔M〕. Beijing:Higher Education Press,2000:46.〕

〔13〕 达良俊,杨永川,宋永昌. 浙江天童国家森林公园常绿阔叶林主要组成种的种群结构及更新类型〔J〕. 植物生态学报,2004,28(3):376 – 384.〔Da Liangjun,Yang Yongchuan,Song Yongchang. Population structure and regeneration types of dominant species in an evergreen broadleaved forest in Tiantong National Forest Park,Zhejiang province,Eastern China〔J〕. Acta Phytoecologica Sinica,2004,28(3):376 – 384.〕

〔14〕 王峥峰,安树青,朱学雷,等. 热带森林乔木种群分布格局及其研究方法的比较〔J〕. 应用生态学报,1998,9(6):575 – 580.〔Wang Zhengfeng,An Shuqing,Zhu Xuelei,et al. Distribution pattern of tree populations in tropical forest and comparison of its study methods〔J〕. Chinese Journal of Applied Ecology,1998,9(6):575 – 580.〕

〔15〕 陈志阳,杨宁,姚先铭,等. 贵州雷公山秃杉种群生活史特征与空间分布格局〔J〕. 生态学报,2012,32(7):2 158 – 2 165.〔Chen Zhiyang,Yang Ning,Yao Xianmin,et al. Life history and spatial distribution of a *Taiwania flousiana* population in Leigong Mountain,Guizhou Province,China〔J〕. Acta Ecologica Sinica,2012,32(7):2 158 – 2 165.〕

〔16〕 杨怀,李意德,许涵,等. 海南特有种东方琼楠种群结构特征明

〔J〕. 生态学杂志,2013,32(6):1 451 - 1 457.〔Yang Huai, Li Yide, Xu Han, et al. Population structure of endemic species *Beilschmiedia tungfangensis* in Hainan of South China〔J〕. Chinese Journal of Ecology,2013,32 (6):1 451 - 1 457.〕

〔17〕田润炜,蔡新斌,刘丽燕,等. 新疆野苹果种群年龄结构特征与动态分析〔J〕. 西北植物学报,2016,36(4):811 - 817.〔Tian Runwei, Cai Xinbin, Liu Liyan, et al. Characteristics of the age structure and dynamics of *Malus sieversii* population〔J〕. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica,2016,36(4):811 - 817.〕

〔18〕陈星. 新疆伊犁野生苹果资源〔J〕. 果树实用技术与信息,2001(2):58.〔Chen Xing. Wild apple resources in Ili, Xinjiang〔J〕. Fruit Tree Practical Technology and Information,2001(2):58.〕

〔19〕董鸣,王义凤,孔繁志. 中国生态系统研究网络观测与分析标准方法——陆地生物群落调查观测与分析〔M〕. 北京:中国标准出版社, 1996: 20 - 81.〔Dong Ming, Wang Yifeng, Kong Fanzhi. Standard Methods for Observation and Analysis in Chinese Ecosystem Research Network-Survey, Observation and Analysis of Terrestrial Biocommunities〔M〕. Beijing: Standard Press of China, 1996:20 - 81.〕

〔20〕Carwley M J. Plant Ecology〔M〕. London: Blackwell Scientific Publications,1986:97 - 185.

〔21〕周纪纶,郑师章,杨持,等. 植物种群生态学〔M〕. 北京:高等教育出版社,1992.〔Zhou Jilun, Zheng Shizhang, Yang Chi, et al. Plant Population Ecology〔M〕. Beijing: Higher Education Press, 1992.〕

〔22〕江洪. 云杉种群生态学研究〔M〕. 北京:中国林业出版社,1992:33 - 78.〔Jiang Hong. Study on Population Ecology of *Picea asperata*〔M〕. Beijing: China Forestry Publishing House,1992:33 - 78.〕

〔23〕祝宁,臧润国. 刺五加种群生态学的研究 Ⅰ. 刺五加的种群结构〔J〕. 应用生态学报,1993,4(2):113 - 119.〔Zhu Ning, Zang Runguo. Population ecology of *Acanthopanax senticosus* population structure〔J〕. Chinese Journal of Applied Ecology, 1993, 4(2): 113 - 119.〕

〔24〕Richard L. A model for the dynamics of a plant population containing individuals classified by the age and the size〔J〕. Ecology, 1983,64(2):224 - 230.

〔25〕Silvertown J W. Introduction to Plant Population Ecology〔M〕. London: Longman,1982.

〔26〕谢衷洁. 时间序列分析〔M〕. 北京:北京大学出版社,1990:88 - 145.〔Xie Zhongjie. Time Sequence Analysis〔M〕. Beijing: Beijing University Press,1990:88 - 145.〕

〔27〕张文辉. 裂叶沙参种群生态学研究〔M〕. 哈尔滨:东北工业大学出版社,1998:7 - 22.〔Zhang Wenhui. Study on Population Ecology on *Adenophora lobophylla*〔M〕. Harbin: Northeast Forestry University Press,1998:7 - 22.〕

〔28〕张艳敏,冯涛,张春雨,等. 新疆野苹果研究进展〔J〕. 园艺学报,2009,36(3):447 - 452.〔Zhang Yanmin, Feng Tao, Zhang Chunyu, et al. Advances in research of the *Malus sieversii* (Leb-ed.) Roem.〔J〕. Acta Horticulturae Sinica,2009,36(3):447 - 452.〕

〔29〕谢宗强,陈伟烈,路鹏,等. 濒危植物银杉的种群统计与年龄结构〔J〕. 生态学报,1999,19(4):523 - 528.〔Xie Zongqiang, Chen Weilie, Lu Peng, et al. The demography and age structure of the endangered plant population of *Cathaya argyrophylla*〔J〕. Acta Ecologica Sinica,1999,19(4):523 - 528.〕

〔30〕Griffith A B, Salguero-Gomez R, Merow C, et al. Demography beyond the population〔J〕. Journal of Ecology,2016,104 (2):271 - 280.

〔31〕马闯,杨美玲,张云秀,等. 新疆野苹果(*Malus sieversii*)种群年龄结构及其动态特征〔J〕. 干旱区研究,2018,35(1):156 - 164.〔Ma Chuang, Yang Meiling, Zhang Yunxiu, et al. Age composition and dynamic characteristics of the main populations of endangered *Malus sieversii*〔J〕. Arid Zone Research,2018,35(1): 156 - 164.〕

Age Composition and Quantitative Dynamic Status of *Malus sieversii* Population

SU Zhi-hao, LI Wen-jun, CAO Qiu-mei, ZHOU Xiao-bing, ZHANG Yuan-ming

(*CAS Key Laboratory of Biogeography and Bioresources in Arid Land, Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi* 830011, *Xinjiang, China*)

Abstract: *Malus sieversii* is a Tertiary relic species. With the continuous reduction of population quantity and distribution area, the species is now on the verge of extinction. In this study, the analyses on the life tables, survival curves and time series of *M. sieversii* were carried out so as to illuminate the age composition and developing trends within the populations. The results showed that there were almost no the seedlings in the first-age class in all the populations, and only a few ones in the second-age class were survival in the population at Agricultural Improvement Station in Xinyuan County, Xinjiang. The dominant age classes in the most populations were the 4th and 5th and even up to 6th and 7th in the Balian population. In short, the mid- and old-aged individuals were dominant in all the populations. The survival curves of *M. sieversii* populations trended to Deevey-II type. It was predicted that the dominant age classes in all the populations would become much more ageing after 20, 40 and 60 years. It was suggested to build a genetic resources center of *M. sieversii*, grow and transplant the seedlings, and strengthen the management to the populations.

Key words: *Malus sieversii*; static life table; time series; age composition; population dynamic status